

## مقایسه دمای سطحی حاصل از داده‌های میدانی و ماهواره‌ای در خزر جنوبی

زهره جلال‌زاده\* - کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات

مسعود ترابی - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران شمال

احمد دالکی - استادیار دانشگاه شهید بهشتی

پذیرش مقاله ۱۳۸۵/۱۰/۱۹ تا ۱۳۸۶/۲/۲۶

### چکیده

تغییرات زمانی و مکانی دمای سطحی پهنه‌ی آبی نقش مهمی در فعالیتهای سیستم جوی، زندگی آبزیان، جریان‌های دریایی، میزان شوری و دیگر خصوصیات آب دریاها و دریاچه‌ها دارد. اندازه‌گیری پارامتر دما با روش‌های معمولی به علت گستردگی و همچنین متغیر بودن آن، کاری هزینه‌بر و وقت‌گیر است. اما در سال‌های اخیر استفاده از فناوری ماهواره‌ای و علم سنجش از دور در دریافت و تحلیل پارامترهای هواشناسی و اقیانوس‌شناسی گسترش روزافزونی یافته است. در تحقیق حاضر به منظور مقایسه‌ی دمای سطحی حاصل از داده‌های دمای سطحی ماهواره‌ای و میدانی از تصاویر ماهواره‌ای NOAA<sup>1</sup> سنجنده‌ی AVHRR<sup>2</sup> استفاده شده است. ده تصویر ماهواره‌ای مورد پردازش قرار گرفته است و این تصاویر با داده‌های میدانی که در زمان گذر ماهواره اندازه‌گیری شده‌اند برای دو روز مربوط به فصلهای بهار و پاییز کالیبره شده‌اند و بین داده‌های حاصل از دمای سطح از ماهواره و داده‌های میدانی رابطی معنی‌داری به دست آمده و خطای بدست آمده بین این دو داده قابل قبول است. اطلاعات دمای سطح دریاچه‌ی خزر جنوبی توسط نرم‌افزار اِرداس (ERDAS) برای تمام تصاویر استخراج و خطوط هم‌دما توسط نرم‌افزار Surfer رسم شد.

واژه‌های کلیدی: دمای سطحی دریاچه‌ی خزر، سنجش از دور، تصویر ماهواره‌ای، دریاچه‌ی خزر

### مقدمه

دما را می‌توان همان انرژی خورشیدی جذب شده به وسیله‌ی مواد که تبدیل به انرژی گرمایی می‌شود تعریف کرد. آب، تابش خورشیدی را به شدت جذب می‌کند. این جذب تا اعماق زیادی در آب نفوذ می‌کند، که این جذب نسبت به شفافیت آب متغیر است. ضخامت لایه‌های جاذب انرژی در اقیانوس‌ها و دریاها به دو تا سه متر می‌رسد و در بخش وسیعی از آن توزیع می‌شود. ضریب جذب بالای آب همراه با ظرفیت گرمایی ویژه‌ی بالای آن و انتقال‌های گوناگون گرما به سایر قسمت‌های آب باعث شده که هر کجا پهنه‌ی آبی داشته باشیم به عنوان ذخیره‌کننده گرما عمل کند.

از آنجایی که دریاها و اقیانوس‌ها مهمترین منابع رطوبتی و محل تشکیل سیستم‌های مختلف جوی هستند. ویژگی‌های گرمایی آب و ارتباط متقابل آن با دمای هوا در این امر دارای اهمیت است. در دنیای امروز مطالعات زیادی در مورد نقش دریاها و دریاچه‌ها بر روی مناطق و اکوسیستم‌های مجاور آن صورت گرفته است. برای

\* E-mail: [zohrejallalzade@hotmail.com](mailto:zohrejallalzade@hotmail.com)

1. NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration  
2. Advanced Very High Resolution Radiometer

استفاده بهتر از منابع دریایی، حمل و نقل آبی، حفاظت تأسیسات ساحلی در برابر امواج و بهره‌برداری از انرژی آب، داشتن اطلاعات کمی و کیفی از مشخصه‌های پهنه‌ی آبی لازم و ضروری است که یکی از این پارامترها، دمای سطح آب است.

علاوه بر شرایط دمایی کلیماتولوژی، توزیع زمانی و مکانی دمای سطح دریاها برای کاربردهای مختلف از جمله پیش‌بینی‌های مدل‌های عددی شار<sup>۱</sup> و بودجه انرژی، مطالعه‌ی جریان دریاچه‌ها و هواشناسی ارزشمند است. دمای آب به وسیله‌ی دماسنج‌هایی که در محفظه‌هایی به داخل آب فرستاده می‌شوند، در عمق‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود. این اندازه‌گیری یا در ایستگاه‌های ثابت دریایی (بویه)<sup>۲</sup> انجام می‌گیرد یا به وسیله قایق‌ها و کشتی‌های تحقیقاتی که در محل‌های مخصوص مستقرند انجام می‌شود. جمع‌آوری اطلاعات و مشاهدات به علت گستردگی و همچنین متغیربودن بعضی پارامترها و دیگر مشکلات، کاری هزینه‌بر و وقت‌گیر است.

در سال‌های اخیر استفاده از فناوری ماهواره‌ای و علم سنجش از دور<sup>۳</sup> در دریافت و تحلیل پارامترهای هواشناسی و اقیانوس‌شناسی گسترش روزافزونی یافته است. داده‌های ماهواره‌ای به عنوان ارزش‌های عددی انرژی حاصل از پدیده‌های زمینی به سنجنده، اهمیت روزافزونی در استخراج اطلاعات منابع زمینی دارد. با برآورد دمای سطحی آب از روی داده‌های تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های دمای سطحی دریا در دوره‌های زمانی بلندمدت تهیه می‌شود. از این نقشه‌ها در مطالعات دریایی و اقیانوسی نظیر بررسی الگوی جریانات مختلف دریا، محیط‌های مناسب زندگی و تجمع آبزیان، رابطه‌ی بین شوری و دما، نواحی جریانات فراجوشی<sup>۴</sup> و تغییرات دمایی و غیره می‌توان استفاده کرد. در این قسمت مروری بر چند کار مشابه این تحقیق در خارج و داخل کشور می‌پردازیم.

کوگان و ویلاندو (Cogan and Willando, 1976) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی NOAA در یک منطقه‌ی اقیانوسی به ابعاد ۴۰ در ۴۰ کیلومتر در زمان‌های متفاوت به برآورد دمای سطح آب دریا<sup>۵</sup> (SST) از داده‌های ماهواره‌ای و مقایسه آن با داده‌های اندازه‌گیری‌شده‌ی دریایی پرداخته‌اند. آن‌ها دریافتند که به خاطر اثر جذب ناشی از بخار آب، دی‌اکسید کربن و ازن دمای به دست آمده از داده‌های ماهواره‌ای همواره کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده به وسیله کشتی‌ها و دیگر روش‌ها است. در این مطالعه آن‌ها بیشتر به تصحیح اثرات اتمسفر در برآورد دمای سطحی آب از طریق داده‌های ماهواره‌ای پرداخته‌اند.

با به کارگیری اطلاعات پوشش محلی ماهواره‌ای NOAA-Lac و سنجنده‌ی AVHRR، اویدال و همکاران (obaidval. et al, 1984) به برآورد دمای سطح دریا (SST) در خلیج بنگال با استفاده از الگوریتم خطی که به وسیله‌ی مک کلین (Mac Clain, 1984) ارائه شده بود پرداختند. الگوریتم مورد استفاده آن‌ها به قرار زیر است:

$$SST=1/346 (T_{11}-T_{12})-283/21(1)$$

که در آن  $T_{11}$  دمای روشنایی باند ۴ و  $T_{12}$  دمای روشنایی باند ۵ است.

1. Numerical Water Prediction  
2. Buoy

۳. سنجش از دور: تشخیص و اندازه‌گیری جسم بدون اینکه در تماس مستقیم و بالفعل با آن جسم باشیم.

4. Up welling  
5. Sea surface temperature

کراکنل (Cracknell, 199۷) در طی تحقیقات خود در خلیج بنگال متوجه شد که در بعضی از نواحی دمای غیرمتعارف و بالایی مشاهده می‌شود. به همین منظور طی مطالعات دقیق‌تر، این محقق متوجه شد که این دمای بالا ناشی از انعکاس خورشید است که درخشش خورشیدی (Sun Light)<sup>۱</sup> نامیده می‌شود.

در استخراج داده‌های دمای سطحی آب از تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه‌های دمای سطح دریا و کاربرد آن در توسعه صنعت ماهیگیری، تحقیقی توسط گودا و همکاران (Gowda et al, 1993) در سازمان تحقیقاتی فضایی هند انجام شد. آن‌ها در تحقیق خود ضمن استخراج داده‌های SST، دیگر پارامترهای دریایی مثل تغییرات رنگ آب را نیز به وسیله تصاویر ماهواره‌ای استخراج کردند.

پارادا و کانتون (Parada and Canton, 191۸) هم برای تجزیه و تحلیل ساختارهای حرارتی دریای آلبرین در جنوب اسپانیا از تصاویر AVHRR-NOAA استفاده کردند. اوزچ و همکاران (Oesch et al, 200۷) با استفاده از سنسور ماهواره NOAA16، با توجه به گذر در باند ۴ ( $11/2-10/3 \mu m$ ) و باند ۵ ( $12/5-11/5 \mu m$ ) و براساس واحدهای روشنایی دما و الگوریتم غیرخطی NLSST که توسط لی (Li, 2001) و اوزچ (Oesch, 2002) توضیح داده شده دمای سطح دریاچه ژنو<sup>۲</sup> را محاسبه کردند. اوزچ و همکاران (Oesch et al, 200۷) دمای سطح آب دریاچه‌های متفاوتی را که در آلپ واقع شده‌اند را بررسی کردند. تیمن و شیلر (Thieman and Schiller, 200۷) الگوی زمانی و مکانی اندازه‌ی دما را با استفاده از داده‌های NOAA-AVHRR در عرضهای میانی و اثرات آن در مطالعه فرآیندهای هیدرودینامیکی در دریاچه کانستین<sup>۳</sup> مورد بررسی قرار دادند و دمای سطح آب دریاچه را با استفاده از روش Split Window به دست آوردند که به قرار زیر است:

$$T=a+bT_4+c(T_4-T_5) \quad (2)$$

T دمای سطح دریاچه،  $T_4$  و  $T_5$  دمای روشنایی در باندهای ۴ و ۵ سنجنده AVHRR، a, b, c ضرایب رگرسیون هستند.

مالم و جانسون (Malam and Jansson, 2003) مطالعه‌ای را روی فشار حرارتی<sup>۴</sup> در دریاچه لوداگان (Lodagan) با استفاده از تصاویر NOAA-AVHRR کانال ۴ و ۵ انجام دادند.

با استفاده از داده‌های مادون قرمز حرارتی ماهواره لندست با قدرت تفکیک بالا، یرمی فیشر و جان اف‌موستارد (Jeremy. I. Fisher, John F. Mustard, 200۴)، اعضای هیأت علمی دانشگاه براون، با بررسی اقلیم‌شناسی دریایی در جنوب نیوانگلند پرداختند و دریافتند که ذخایر آب‌های کم عمق و منفک از هم نسبت به آب‌های خلیج‌های عمیق‌تر و مرتبط با هم و نسبت به آب‌های ساحلی اقیانوسی در معرض تغییرات دمایی شدید قرار می‌گیرند (بعضی از ۲- تا ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد).

۳. علت این پدیده در راستا قرار گرفتن دید سنسور با خورشید است که در موقع طلوع و غروب خورشید، موقعی که ارتفاع خورشید نسبت به افق پایین است، دیده می‌شود.

2. Geneva  
3. Constane  
4. Thermal bar

زبیری و مجد (۱۳۷۸) با استفاده از باند حرارتی TM (باند ۶) دمای سطح آب دریاچه‌ی مهارلو در فارس را محاسبه کردند. در این مطالعه با توجه به باند مادون قرمز حرارتی سنجنده‌ی TM برای طبقه‌بندی، دمای سطح آب دریاچه‌ی مهارلو را محاسبه کردند.

با استفاده از سنجنده AVHRR کریمی (۱۳۸۰) نقشه دمای سطح دریا (SST) را در منطقه‌ی خلیج فارس بررسی کرده است و بین نقشه حاصل از داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های اندازه‌گیری شده بر روی دریا رابطه معنی‌داری به دست آورده که به صورت زیر است:

$$SST=0/987T_4-0/183(BT_4-BT_5)+1/331 \quad (۳)$$

$T_4$  و  $T_5$  دمای روشنایی از باندهای ۴ و ۵ سنجنده‌ی AVHRR و B ضریب رگرسیون است.

در این تحقیق ارتباط عمق با تغییرات دمایی در خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفت، ضمناً بررسی شد که نمی‌توان تنها عمق کم منطقه را دلیل تغییرات دمایی بالا در این منطقه ذکر کرد.

سراجیان و انصاری (۱۳۸۱) با استفاده از تصاویر NOAA و روش Split Window با دقت  $0/5^{\circ}C$  به محاسبه بیلان آبی دریای خزر و بررسی روند تبخیر در آن پرداختند. آخوندزاده و سراجیان به تهیه نقشه دمای سطحی دریای خزر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مادون قرمز MODIS<sup>۱</sup> پرداختند. پوراصغر (۱۳۸۳) با استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR با پردازش ۱۲ تصویر از ۱۲ ماه سال و کالیبراسیون این تصاویر با داده‌های دریایی که در زمان گذر ماهواره اندازه‌گیری شده بودند، تصویر دمای دریاچه ارومیه را تعیین نمود.

## مواد و روش‌ها

تصاویر سنجنده AVHRR نصب شده بر روی ماهواره‌های NOAA16 و NOAA14 اطلاعات پایه‌ای تحقیق را تشکیل می‌دهند. تجزیه و تحلیل اصلی بر روی همین اطلاعات انجام شد. به منظور امکان کالیبره نمودن اطلاعات دمای سطحی آب به دست آمده از تصاویر، انجام اندازه‌گیری‌های میدانی ضروری است. بدین لحاظ دمای سطحی آب به منظور مقایسه با مقادیر به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای به صورت عملیات میدانی اندازه‌گیری شده است. انتخاب تصاویر به گونه‌ای است که حتی‌الامکان قابلیت مقایسه و کالیبراسیون آن‌ها با این اطلاعات محلی فراهم شود، اطلاعات اندازه‌گیری میدانی که استفاده شده مربوط به ۶ مورد عملیات میدانی در سال ۲۰۰۵ میلادی توسط محقق و ۴ عملیات میدانی در سال ۲۰۰۳ میلادی توسط مرکز ملی اقیانوس‌شناسی است. عملیات میدانی رأس ساعت عبور ماهواره و عکسبرداری آن صورت گرفته است. از جمله محدودیت‌ها در انتخاب تصاویر وجود ابر در منطقه است. به منظور تعیین و مقایسه زمانی و مکانی دمای سطح آب دریاچه‌ی خزر، ۱۰ تصویر از سنجنده AVHRR متعلق به ۱۰ روز مختلف و ماه‌های مختلف انتخاب و از سازمان فضایی ایران دریافت گردید.

برای تعیین دقت داده‌های دمایی استخراج شده از تصاویر، به داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده به عنوان اطلاعات مرجع نیاز است. به این منظور از داده‌های اندازه‌گیری شده میدانی استفاده می‌شود. یکی از محدودیت‌های مطالعاتی

1. MODIS=Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

این تحقیق و اغلب تحقیقات مشابه، کمبود اطلاعات پایه و ناپیوستگی در این اطلاعات است. اطلاعات جمع‌آوری شده دمای سطح آب در دریاچه‌ی خزر مربوط به سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵ میلادی است. در محدوده جنوبی دریای خزر محقق و مرکز ملی اقیانوس‌شناسی به صورت دستی و با دماسنج دیجیتالی اقدام به جمع‌آوری اطلاعات مربوط به دمای سطح در نقاط مختلف در سطح دریاچه‌ی خزر به صورت پراکنده نموده است.

در این تحقیق از نرم‌افزارهای پردازش تصویری شامل نرم‌افزار STARS و IDRISI و ERDAS استفاده شده است و همچنین نرم‌افزار، Surfer و Pci و نرم‌افزارهای عمومی از قبیل Excel و Word و Paint استفاده شده است. سخت‌افزار مورد استفاده یک دستگاه کامپیوتر پنتیوم چهار، ماشین حساب و پرینتر برای خروجی گرفتن است.

در تصاویر ماهواره‌ای دمای استخراج شده برای باندهای ۴ و ۵ که به دمای روشنایی یا دمای تابشی معروف هستند را نمی‌توان مستقیماً به عنوان دمای اجسام سنجش شده به کار برد. این دما متأثر از ضریب گسیل‌مندی، دمای ذرات اتمسفر و خطاهای مربوط به سیستم سنجش است.

بحث اصلی تصحیحات، اصولاً شامل تصحیحات اتمسفری است که این عمل برای کاهش و حذف اثرات گازها و ذرات اتمسفر به‌خصوص بخار آب انجام می‌گیرد. به همین منظور روش‌های متعددی برای تصحیحات اتمسفری به وسیله محققین پیشنهاد شده است. برای به‌دست آوردن رابطه‌ای که بتوان به وسیله آن دمای روشنایی را به دمای جسم تبدیل کرد نیاز به دماهای اندازه‌گیری شده زمینی داریم تا با استفاده از آن‌ها، دمای روشنایی باندها، همچنین یافتن اختلاف بین باندها رابطه‌ای برای محاسبه‌ی دما به دست آورد که این عمل در حقیقت کالیبراسیون با داده‌های زمینی را نیز شامل می‌شود.

روش‌های مختلفی برای محاسبه‌ی دمای سطح آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد که بهترین و کارآمدترین آن‌ها روش Split Window است. با توجه به باندهای مورد استفاده به علت اینکه تصاویر مورد بررسی فقط هنگام روز است از این روش استفاده شده است.

این روش از تفاوت در جذب توسط بخار آب در دو باند ۴ و ۵ استفاده می‌کند. با این روش یک تصحیح اتمسفری نیز در محاسبات دخالت داده می‌شود. در این روش، اکثراً دماهای به دست آمده از تصاویر را با دماهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مستقر بر روی دریا مقایسه می‌نمایند و با استفاده از روش‌های آماری معادلاتی برای تصحیح این دماها محاسبه می‌شود. با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به خصوص تصاویر تهیه شده توسط سنجنده‌ی AVHRR تحقیقات کاربردی فراوانی صورت گرفته است.

این مطالعات با استفاده از تصاویر پوشش جهانی برای مقیاس جهانی و تصاویر پوشش محلی برای مناطق مختلف انجام پذیرفته است. دمای روشنایی در باندهای ۴ و ۵ با استفاده از نرم‌افزار STARS محاسبه شدند. در این پروژه به منظور افزایش دقت نقشه‌های حرارتی مربوط به سطح دریاچه‌ی خزر که با استفاده از داده‌های سنجنده‌ی AVHRR از ماهواره‌ی NOAA تهیه شدند، ابتدا اندازه‌گیری‌های سطح آب به طور مستقیم و هم‌زمان با عبور ماهواره از منطقه صورت گرفت و سپس با تجزیه و تحلیل آماری آن‌ها، ضرایب فرمول جهانی محاسبه SST در مقیاس محلی تعیین شد. این اندازه‌گیری‌ها باید در روزهای غیرابری و در مناطق مشخصی صورت گیرد. به این

منظور فهرستی از ساعات و تاریخ‌های عبور ماهواره‌های NOAA برای دوره‌ی زمانی مورد مطالعه در تحقیق تهیه شده و سپس در روزهای آفتابی در تعدادی نقاط با طول و عرض جغرافیایی معین از سطح دریاچه خزر نمونه‌برداری به عمل آمد.

در این تحقیق از متداولترین روش محاسبه SST یعنی Split Window استفاده شده و ضرایب معادله جهانی مربوطه را برای منطقه خزر کالیبره شده است. فرمول جهانی SST برای روش مذکور به روش زیر است:

$$SST=A+B \times Tb_4+C \times (Tb_4+Tb_5)+D \times (Tb_4-Tb_5) \times (\sec(0)-1) \quad (4)$$

که در آن  $Tb_4$  و  $Tb_5$  به ترتیب مقادیر حرارتی استخراجی از باندهای ۴ و ۵ و  $O$  زاویه زنیط ماهواره و ضرایب  $A$  و  $B$  و  $C$  و  $D$  برابرند با:

$$\begin{aligned} A &= -273.77 \\ B &= 0.999317 \\ C &= 2.30195 \\ D &= 0.628966 \end{aligned}$$

این ضرایب پس از کالیبراسیون به صورت زیر محاسبه شدند:

$$\begin{aligned} A &= -271.206 \\ B &= 0.992818 \\ C &= 2.49916 \\ D &= 0.915103 \end{aligned}$$

بعد از این که دمای روشنایی تصاویر برای هر دو باند ۴ و ۵ در تمام نقاط محاسبه شد با توجه به مختصات ایستگاه‌های اندازه‌گیری دریایی مقادیر دمای روشنایی باندهای ۴ و ۵ برای نقاط متناظر با ایستگاه‌های دریایی از تصویر استخراج شدند. دمای انتخاب شده از ایستگاه دریایی طوری اندازه‌گیری شد که هم‌زمان و در ساعت تصویربرداری ماهواره‌ی NOAA باشد برای تعیین دمای سطح آب دریاچه‌ی خزر از روی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزارهای ERDAS و Pci دمای سطحی نقاط شبکه (گره) با در نظر گرفتن طول و عرض جغرافیایی ثبت شد. ضمناً نقشه دیجیتالی مناسبی برای دریای خزر تهیه شد که خطوط هم‌دما با استفاده از نرم‌افزار Surfer در آن نقشه رسم شد.

#### یافته‌های پژوهش

به عنوان نمونه، داده‌های مربوط به ۲ روز در ماه‌ها و فصل‌های مختلف انتخاب شده است که یکی مربوط به فصل بهار روز ۲۴/۵/۲۰۰۵ (۳/۳/۸۴) و دیگری مربوط به فصل پاییز در تاریخ ۲۹/۹/۲۰۰۳ (۷/۷/۸۲) است. به منظور تعیین مدل در خزر جنوبی از میانگین دمای سطح دریاچه استفاده شده است. به این صورت که با استفاده از نرم‌افزار Pci، دمای سطح در طول و عرض جغرافیایی در نقاط مختلف مشخص شد. سپس خزر جنوبی به ۱۱ قسمت مختلف تقسیم گردید. قسمت‌های مختلف عبارتند از جنوب، جنوب شرق، جنوب غرب، شرق، غرب، مرکزی جنوب، مرکزی شمال، شمال شرق، شمال غرب و خلیج قره‌بغاز. برای هر قسمت دمای ایستگاه‌های مختلف استخراج و سپس میانگین‌گیری شد.

همچنین دمای سطح خزر جنوبی با استفاده از یک دماسنج دیجیتال در نقاط مختلف که طول و عرض جغرافیایی آن توسط GPS<sup>۱</sup> تعیین شده بود در روزها و ماه‌ها و سال‌های مختلف تعیین و سپس همان نقاط با طول و عرض جغرافیایی روی تصاویر ماهواره‌ای مشخص و دما با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد. سپس نمودار مربوط بین دو دمای حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و عملیات میدانی در ایستگاه‌های مشخص رسم و بعد از آن خطای بین این دو داده تعیین شد که از جمله معیارهای مناسب برای مقایسه مدل‌ها، خطای نسبی است. معیار پذیرفتن مدل هنگامی که از خطای نسبی استفاده می‌شود این است که خطای نسبی به سمت کمتر از ۴۰ درصد میل کند برای محاسبه خطای نسبی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$R_e = \left| \frac{Y_i - Y_e}{Y_i} \right| \times 100 \quad (5)$$

$Y_0$ : مقدار مشاهده‌ای متغیر وابسته

$Y_e$ : مقدار تخمینی متغیر وابسته

$R_e$ : خطای نسبی

است که در زیر به بررسی آن چه که گفته شد می‌پردازیم.

روز ۲۰۰۵/۵/۲۴

دمای میانگین حاصل از ۱۲ ایستگاه در جنوب خزر جنوبی:  $21/27^{\circ}\text{C}$

دمای میانگین حاصل از ۸ ایستگاه در جنوب شرق خزر جنوبی:  $21/56^{\circ}\text{C}$

دمای میانگین حاصل از ۸ ایستگاه در شرق خزر جنوبی:  $20/69^{\circ}\text{C}$

دمای میانگین حاصل از ۲۶ ایستگاه در مرکزی جنوبی خزر جنوبی:  $19/99^{\circ}\text{C}$

دمای میانگین حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب غربی خزر جنوبی:  $21/01^{\circ}\text{C}$

دمای میانگین حاصل از ۱۰ ایستگاه در غرب خزر جنوبی:  $20/15^{\circ}\text{C}$

به دلیل ابری بودن اندازه‌گیری دمای میانگین از تصاویر ماهواره‌ای در نیمه شمالی خزر جنوبی میسر نبود.

جدول ۱، ۱۹ ایستگاه اندازه‌گیری دمای سطح در خزر جنوبی (داده‌های میدانی و ماهواره‌ای) را نشان

می‌دهد.

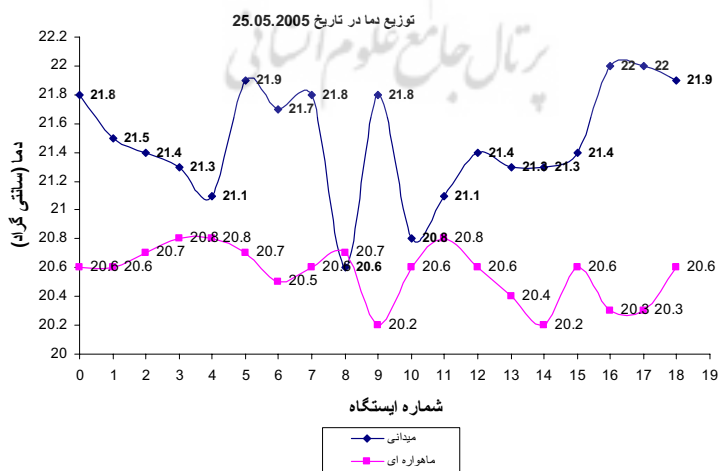
1. GPS: (Global Positioning System):

دستگاهی که قادر است در هر لحظه از شبانه‌روز با استفاده از ماهواره موقعیت جغرافیایی و ارتفاع هر نقطه روی کره زمین را تعیین و اعلام کند.

جدول ۱ داده‌های دمای سطح خزر جنوبی (ساعت نمونه‌برداری: ۱۱)

خطای نسبی	دمای ماهواره (درجه سانتی‌گراد)	دمای میدانی آب (درجه سانتی‌گراد)	عرض جغرافیایی			طول جغرافیایی			ردیف
			درجه	دقیقه	ثانیه	درجه	دقیقه	ثانیه	
۵/۵۰٪	۲۰/۶	۲۱/۸	۳۶°	۴۵'	۴۷"	۵۱°	۱۵'	۰۲"	۱
۴/۱۹٪	۲۰/۶	۲۱/۵	۳۶°	۴۵'	۵۳"	۵۱°	۱۴'	۵۱"	۲
۳/۲۷٪	۲۰/۷	۲۱/۴	۳۶°	۴۵'	۵۴"	۵۱°	۱۵'	۰۳"	۳
۲/۳۵٪	۲۰/۸	۲۱/۳	۳۶°	۴۵'	۵۶"	۵۱°	۱۴'	۵۱"	۴
۱/۴۲٪	۲۰/۸	۲۱/۱	۳۶°	۴۵'	۵۹"	۵۱°	۱۵'	۰۳"	۵
۵/۴۸٪	۲۰/۷	۲۱/۹	۳۶°	۴۶'	۰۳"	۵۱°	۱۴'	۵۱"	۶
۵/۵۳٪	۲۰/۵	۲۱/۷	۳۶°	۴۶'	۰۶"	۵۱°	۱۵'	۰۳"	۷
۵/۵۰٪	۲۰/۶	۲۱/۸	۳۶°	۴۶'	۰۴"	۵۱°	۱۵'	۰۹"	۸
۰/۴۸٪	۲۰/۷	۲۰/۶	۳۶°	۴۶'	۰۷"	۵۱°	۱۵'	۱۳"	۹
۷/۳۳٪	۲۰/۲	۲۱/۸	۳۶°	۴۶'	۰۴"	۵۱°	۱۵'	۱۹"	۱۰
۰/۹۸٪	۲۰/۶	۲۰/۸	۳۶°	۴۶'	۰۵"	۵۱°	۱۵'	۲۵"	۱۱
۱/۴۲٪	۲۰/۸	۲۱/۱	۳۶°	۴۵'	۵۹"	۵۱°	۱۵'	۲۴"	۱۲
۳/۷۴٪	۲۰/۶	۲۱/۴	۳۶°	۴۵'	۵۹"	۵۱°	۱۵'	۱۷"	۱۳
۴/۲۲٪	۲۰/۴	۲۱/۳	۳۶°	۴۵'	۵۷"	۵۱°	۱۵'	۱۱"	۱۴
۵/۱۶٪	۲۰/۲	۲۱/۳	۳۶°	۴۵'	۵۵"	۵۱°	۱۵'	۱۹"	۱۵
۳/۷۳٪	۲۰/۶	۲۱/۴	۳۶°	۴۵'	۵۴"	۵۱°	۱۵'	۲۴"	۱۶
۷/۷۳٪	۲۰/۳	۲۲/۰۰	۳۶°	۴۵'	۴۵"	۵۱°	۱۵'	۱۸"	۱۷
۷/۷۳٪	۲۰/۳	۲۲/۰۰	۳۶°	۴۵'	۴۶"	۵۱°	۱۵'	۲۳"	۱۸

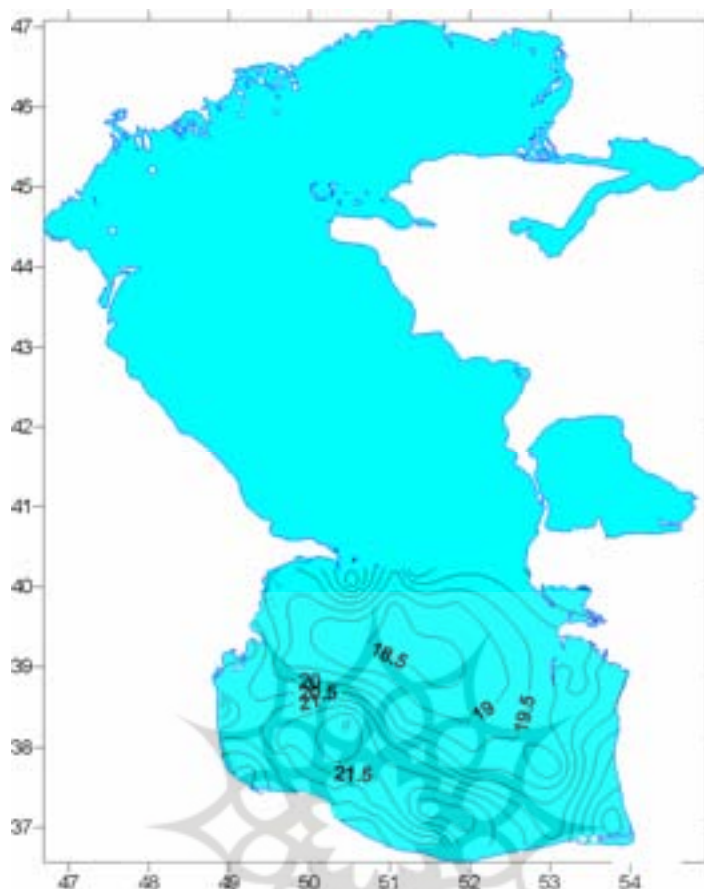
چنانچه با استفاده از داده‌های جدول فوق ضریب همبستگی بین داده‌های ماهواره‌ای و میدانی را به دست آوریم ۰/۶۵- است، که نشان می‌دهد که بین این دو داده همبستگی نسبتاً قوی وجود دارد. نمودار ۱ مقایسه دمای سطحی حاصل از برداشت میدانی و داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از اطلاعات جدول ۱ را نشان می‌دهد.



شکل ۱ توزیع دمای سطحی خزر جنوبی



خطوط هم‌دما مربوط به این روز حاصل از داده‌های ماهواره‌ای را می‌توان در شکل ۲ مشاهده کرد.



شکل ۲ خطوط هم‌دمای خزر جنوبی مربوط به روز ۲۴/۵/۲۰۰۵

در شکل ۲ مشاهده می‌شود که در طی ماه‌های گرم سال دمای سواحل جنوبی بیشتر از نواحی دور از ساحل است و سواحل شرقی خزر جنوبی دمای بیشتری از سواحل غربی دارند. در مناطق شرقی خزر جنوبی به دلیل دبی کم رودخانه‌ها و کم عمق بودن آب، دمای سطحی آب بیشتر است.

روز ۲۹/۹/۲۰۰۳

دمای میانگین حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب خزر جنوبی: ۲۳/۵۷

دمای میانگین حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب غرب خزر جنوبی: ۲۳/۱۴

دمای میانگین حاصل از ۱۰ ایستگاه در جنوب شرق خزر جنوبی: ۲۳/۹۰

دمای میانگین حاصل از ۷ ایستگاه در شرق خزر جنوبی: ۲۱/۱۸

دمای میانگین حاصل از ۱۰ ایستگاه در خلیج قره‌باغ خزر جنوبی: ۱۸/۶۰

دمای میانگین حاصل از ۶ ایستگاه در شمال شرق خزر جنوبی: ۱۸/۱۴

دمای میانگین حاصل از ۵ ایستگاه در شمال خزر جنوبی: ۲۰/۴۱

دمای میانگین حاصل از ۸ ایستگاه در شمال غرب خزر جنوبی: ۲۱/۰۶

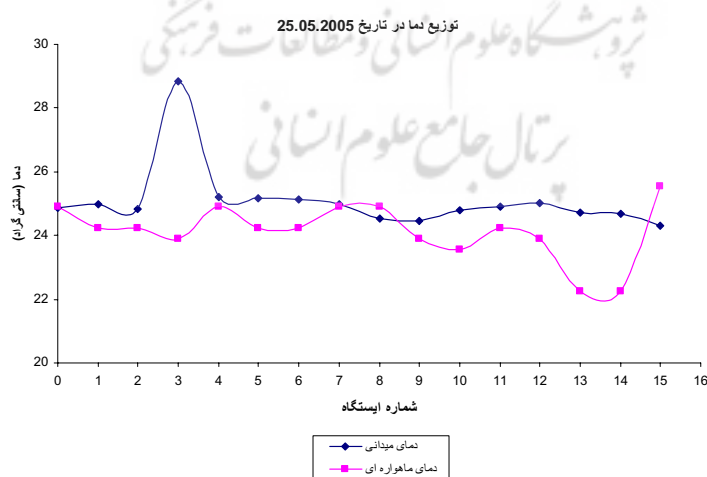
دمای میانگین حاصل از ۲۰ ایستگاه در غرب خزر جنوبی: ۲۲/۴۴

دمای میانگین حاصل از ۱۳ ایستگاه در مرکزی جنوب خزر جنوبی: ۲۳/۰۹  
 دمای میانگین حاصل از ۱۰ ایستگاه در مرکزی شمال خزر جنوبی: ۲۱/۴۰  
 جدول ۲، ۱۶ ایستگاه اندازه‌گیری دمای سطح در خزر جنوبی (داده‌های میدانی و ماهواره‌ای) را نشان می‌دهد.

جدول ۲ داده‌های دمای سطح خزر جنوبی ساعت نمونه‌برداری ۱۱

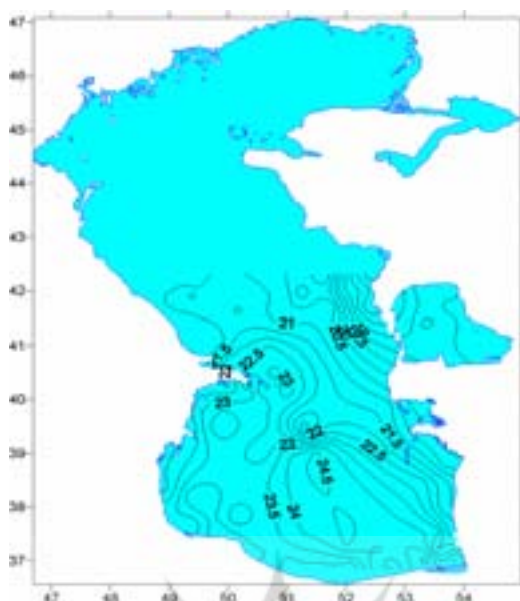
	طول جغرافیایی			عرض جغرافیایی			دمای میدانی آب	دمای ماهواره	خطای نسبی
	درجه	دقیقه	ثانیه	درجه	دقیقه	ثانیه			
۱	۵۲	۴۱	۰۰/۴۰	۳۶	۴۳	۲۳/۲۰	۲۴/۸۷	۲۴/۸۹	۰/۰۸٪
۲	۵۲	۴۰	۳۴/۲۰	۳۶	۴۴	۲۷/۹	۲۴/۹۸	۲۴/۲۳	۳/۰۰٪
۳	۵۲	۴۰	۰۵/۸۸	۳۶	۴۵	۲۹/۳۰	۲۴/۸۵	۲۴/۲۳	۲/۴۹٪
۴	۵۲	۳۹	۵۳/۸۰	۳۶	۴۶	۳۷/۲۰	۲۸/۸۵	۲۳/۹	۱۷/۱۵٪
۵	۵۲	۳۹	۲۸/۱۰	۳۶	۴۷	۴۱/۹۰	۲۵/۱۹	۲۴/۸۹	۱/۱۹٪
۶	۵۲	۳۹	۰۳/۳۰	۳۶	۴۹	۱۲/۴۷	۲۵/۱۸	۲۴/۲۳	۳/۷۷٪
۷	۵۲	۳۹	۲۱/۸	۳۶	۴۸	۵۶/۳۰	۲۵/۱۲	۲۴/۲۳	۳/۵۴٪
۸	۵۲	۳۳	۰۵/۵۰	۳۶	۴۸	۳۰/۷۲	۲۴/۹۷	۲۴/۸۹	۰/۳۲٪
۹	۵۲	۲۹	۵۱/۵۰	۳۶	۴۷	۵۲/۰۸	۲۴/۵۵	۲۴/۸۹	۱/۳۸٪
۱۰	۵۲	۲۶	۲۶/۲	۳۶	۴۷	۱۵/۷۰	۲۴/۴۵	۲۳/۹	۲/۲۴٪
۱۱	۵۲	۲۳	۳۴/۵۰	۳۶	۴۶	۳۵/۶۰	۲۴/۸۱	۲۳/۵۷	۴/۹۹٪
۱۲	۵۲	۲۳	۵۴/۷۰	۳۶	۴۵	۱۳/۲۰	۲۴/۹۴	۲۴/۲۳	۲/۸۴٪
۱۳	۵۲	۲۴	۵۶/۸۰	۳۶	۴۴	۰۰/۴۰	۲۵/۰۳	۲۳/۹	۴/۵۱٪
۱۴	۵۲	۲۴	۲۷/۰۰	۳۶	۴۲	۴۶/۰۰	۲۴/۷۲	۲۲/۲۶	۹/۹۵٪
۱۵	۵۲	۲۴	۴۹/۱۸	۳۶	۴۱	۴۱/۳۰	۲۴/۶۸	۲۲/۲۶	۹/۸۰٪

با توجه به جدول فوق ضریب همبستگی بین داده‌های دمای ماهواره‌ای و میدانی ۰/۰۹- است، که نشان دهنده آن است که بین این دو داده همبستگی ضعیفی وجود دارد. شکل ۳ مربوط به مقایسه دمای سطح حاصل از برداشت میدانی و داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از داده‌های جدول ۲ است.



شکل ۳ توزیع دمای سطحی خزر جنوبی

خطوط هم‌دما مربوط به این روز حاصل از داده‌های ماهواره را می‌توان در شکل ۴ مشاهده کرد:



شکل ۴ خطوط هم‌دمای خزر جنوبی مربوط به روز ۲۰۰۳/۹/۲۹

در شکل ۴ مشاهده می‌شود که دما در خزر جنوبی در مهر ماه بیشتر از ماه‌های گرم سال است که به دلیل کاهش بارندگی، دبی رودخانه‌ها و سرعت جریان‌های سطحی خزر جنوبی است. افزایش دمای سطحی در سواحل جنوب شرقی نسبت به سواحل جنوب غربی مشابه فصل گرم سال است.

### بحث و نتیجه‌گیری

۱. با مراجعه به خطای نسبی حاصل از دو داده‌ی میدانی و ماهواره‌ای در این دو روز، مشاهده می‌شود که در هر دو روز خطاهای نسبی به دست آمده کمتر از ۴۰٪ است.
۲. با توجه به اینکه کوگان و ویلانندو (۱۹۷۶) دریافتند که داده‌های ماهواره‌ای همواره کمتر از مقدار اندازه‌گیری‌شده به وسیله‌ی کشتی‌ها و دیگر روش‌هاست با مراجعه به جداول (۱) و (۲) می‌بینیم که به غیر از چند مورد خطا، در تمام ایستگاه‌ها مقدار اندازه‌گیری‌شده به وسیله‌ی ماهواره همواره کمتر از داده‌های میدانی است.
۳. به منظور کالیبراسیون تصاویر ماهواره‌ای داده‌های میدانی لازم به نظر می‌رسد.
۴. اختلاف بین دمای حاصل از ماهواره و دمای میدانی می‌تواند به دلیل عوامل زیر باشد:
  - یکی از اندازه‌گیری‌ها و یا هر دو آن‌ها می‌توانند خطا داشته باشند.
  - اندازه‌گیری‌ها توسط ماهواره دمای سطحی را نشان می‌دهند در حالی که اندازه‌گیری‌هایی که توسط کشتی انجام می‌شوند، معمولاً مربوط به دمای زیرسطحی نیز هستند. درست است که نباید اختلاف شدیدی بین این دو نوع اندازه‌گیری باشد، ولی با این حال، اختلافات بارزی ممکن است به خاطر سرعت باد و شرایط سطحی رخ دهد.

- دماهای اندازه‌گیری شده توسط ماهواره یک منطقه را در برمی‌گیرد در حالیکه داده‌های حاصل از کشتی یک مقدار نقطه‌ای است (مربوط به یک نقطه می‌شود) و همین مورد می‌تواند اختلافات زیادی را به خصوص در مناطقی که گرادیان دما داریم، ایجاد کند. در نهایت اینکه در تمامی موارد مانند روش‌هایی که برای تهیه گزارش مشاهدات دما استفاده می‌شوند، خطاهای مشاهداتی، خطای دماسنج، اختلاف بین دمای آب دریا در سطح نمونه‌برداری و سطح آب همگی می‌توانند خطا ایجاد کند.

- اختلاف دما در دریاچه خزر به دلیل وسعت آن در یک عرض جغرافیایی گسترده اهمیت دارد ولی تنها عامل ایجاد جریان‌های سطحی نیست. بنابراین ضمن در نظر گرفتن آن به عنوان عامل مهم باید سایر عوامل مثل شارش رودخانه‌ها، شکل خط ساحلی و وزش بادهای غیر یکنواخت به طور مایل را هم در نظر بگیریم، تا بتوان جریان‌های سطحی را پیش‌بینی کرد. به این منظور می‌توانیم از مدل‌های پیچیده‌تری که این عوامل در آن لحاظ شده، مثل<sup>۱</sup> COHERENS و یا مدل<sup>۲</sup> POM استفاده کنیم.

### پیشنهادات

۱. با توجه به اشراف ایران به بخش عظیمی از آب‌های خلیج فارس و دریاچه خزر لازم است که از این تحقیق و موارد مشابه، استفاده و با تجهیزات کامل و برنامه‌های مدون این تحقیقات به صورت گسترده و در زمان‌های مختلف از نظر فصول و سال‌ها انجام پذیرد تا بتوان به بعضی داده‌های لازم منطقه‌ای دست یافت.
۲. اگر هزینه‌ها و مقدار وقت مصرف‌شده محاسبه گردد، این نظریه تأیید می‌شود که استفاده از کاربری ماهواره در شناخت بیشتر دریاها حتی از نظر بیولوژیکی و صید آبزیان و پیش‌بینی بلایای طبیعی می‌تواند فوق‌العاده مفید باشد.

### منابع

- پوراصغر فرناز ۱۳۸۳، بررسی دما در سطح دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.
- زبیری محمود، دالکی احمد ۱۳۷۰، اصول تفسیر عکس‌های هوایی با کاربرد در منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- زبیری، م و مجد، ع. ۱۳۷۸. آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد آن در منابع طبیعی. انتشارات دانشگاه تهران.
- سراجیان، م و انصاری، ع. ۱۳۸۱. محاسبه‌ی بیلان آبی دریاچه‌ی خزر و بررسی روند تغییرات تبخیر در سطح دریاچه. مرکز فضایی ایران.
- کریمی، م، ۱۳۸۰. کاربرد تصاویر سنجنده AVHRR در تهیه نقشه دما در سطح دریا (SST) در منطقه خلیج فارس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- مؤمنی ایرج، مبانی اقیانوس‌شناسی، جلد اول، ۱۳۷۵، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
- هارپر - درتی، دالکی احمد و قادری مرتضی، چشمی در آسمان، ۱۳۶۳، مرکز نشر دانشگاهی تهران.

- Akhoondzade Mehdi & Serajian Mohammad Reza, May 2-9, 2005, A Caspian perspective 2005.

<sup>۱</sup>. Coupled Hydro dynamical Ecological model for Regional Shelf seas

<sup>۲</sup>. Princeton Ocean Model

- Cogan, J. L. and Willanado, J. H. 1976. Measurment of sea surface temperature by NOAA-2- Satellite. Journal of Applied Meteorology, 21 69-74
- Gowda, H., Manikiam, Hand Chandrasekhar, M. G. 1993. Remote sensing for marin fisheries development in INDIA. Journal of Remote sensing 50:47.
- Jeremy I. Fisher, John F. Mustard, 15 April 2004, High Spatial resolution Sea surface climatology from landsat thermal infrared. remote sensing of environment.
- Li, X., Krasnopolsky, V. and Sapper, J, 2001. Validation of coastal Sea and lake Surface temperature measurements derived from NOAA/AVHRR. International journal of remote sensing. 22(7). Pp: 1285-1303.
- Magellan GPS 2000, Satellite Navigator, 960 overlant Court, San Dimas, California 91773 U.S.A.
- Malam, J. and Joss on, L. 2003. A study of thermal bar in lake ladoga using water surface temperature data from satellite images. Journal of remote sensing of Environment, vol 44, pp: 35-46.
- Oboidual, mand azimul. A. 1984. Sea surface temperatures of the bay of bangal from NOAA(AVHRR) satellite and associated data with their possible application. Journal of Asian-Pasific Remote sensing vol 7, pp:22-37.
- Oesch, D, Hauser, A. and wunderle, S.2002, Deriving lake surface temperature variations of an alpine Lake using NOAA-AVHRR date, remote sensing research group, Department of Geography, University of Bern Switzerland. <http://Saturn.Unible.Ch/research>
- Oesch, D., Hauser, A. and Wunderle, S. 2003, Operational mapping of lake surface temperature in the Alps using NOAA-AVHRR data: intercompasion of different lakes. remote sensing research group, Department of Geography. University of Bern, Switzerland. [http://Saturn.Unibe.ch/rsbern/NNOAA/dw/realtime/RSGB-AVHRR\\_SST.pdf](http://Saturn.Unibe.ch/rsbern/NNOAA/dw/realtime/RSGB-AVHRR_SST.pdf)
- Oesch., Hauser, A. and Wunderle, S. 2003. operational Processing of NOAA-AVHRR data for mapping lake surface temperatures in an alpine environmet: feasibility and validation in SPIE. international symposium remote sensing, SPIE. Barcelona, Spain.
- Parada, M. and Conton, M. 1998. Sea surface temperature variability in ALBORAN Sea from Satellite data. Journal of Remote sensing, 19:2439-2450.
- Sur, H. and Ozsoy, E. and Ibrayer, R. 2000. Satellite derived flow characteristic of the Caspian Sea in: Satenite oceanography and Society Vol 16, pp: 294-312.
- Thiemann. S. and schille H. 2003. Determination of the bulk temperature from NOAA/AVHRR Satellite data in midlatitude lake. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 4:339-349.